



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta elektrotechnická
Katedra elektroenergetiky**

Výstavba solární elektrárny

Photovoltaic Power Plant Construction

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Aplikované elektrotechnika

Vedoucí práce: Ing. Vít Klein, Ph.D.

Václav Tomášek

Praha 2015

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra elektroenergetiky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Václav Tomášek**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Aplikovaná elektrotechnika

Název tématu: **Výstavba solární elektrárny**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Teorie využití solárních elektráren
- 2) Technické řešení dané elektrárny
- 3) Výpočet výkonu elektrárny
- 4) Ekonomické zhodnocení
- 5) Vliv na okolní systémy

Seznam odborné literatury:

- [1] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie. 2., dopl. vyd. Praha: FCC Public, 2001, 208 s., ISBN 978-809-0431-157
- [2] STANĚK, Kamil. Obnovitelné zdroje energie. 2. upr. a dopl. vyd. Praha: FCC Public, 2001, 208 s., ISBN 80-901-9858-9
- [3] STANĚK, Kamil. Fotovoltaika pro budovy. 1. vyd. Praha: Grada pro Katedru konstrukcí pozemních staveb Fakulty stavební Českého vysokého učení technického v Praze, 2012. ISBN 978-802-4742-786

Vedoucí: Ing. Vít Klein, Ph.D.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2015/2016

L.S.

Ing. Jan Švec Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 1. 4. 2015

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

.....
podpis autora

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu práce Ing. Vítu Kleinovi, Ph.D., za odborné vedení, podnětné připomínky a cenné rady, které mi velmi výrazně pomohly ke vzniku této práce.

Abstrakt

Bakalářská práce se zaměřuje na možnost využití střešního fotovoltaického systému jako investičního projektu. V úvodní části je popsán princip fotovoltaické přeměny a rozebráno využití sluneční energie k výrobě elektrické energie na území České republiky. V následující části jsou popsány jednotlivé komponenty ke stavbě fotovoltaické elektrárny. Detailněji jsou zde rozebrány jednotlivé technologie výroby článků. Ve třetí části je popsána současná legislativa pro provoz a výstavbu sluneční elektrárny. V následující části se věnuji skutečnému návrhu sluneční elektrárny a dimenzování jeho komponentů. V poslední části se zabývám finanční stránkou a ekonomickým zhodnocením celého projektu.

Klíčová slova: panel; energie; návrh; střídač; fotovoltaika; návratnost

Abstract

This Bachelor thesis focuses on the potential for rooftop PV system as an investment project. The introductory section describes the principle of photovoltaic conversion and dismantled using solar energy to generate electricity in the Czech Republic. The following section describes the individual components to build photovoltaic power plants. They are discussed in detail various technology articles. The third part describes the current legislation for the operation and construction of solar power plants. The following section is devoted to the actual proposal for solar power and dimensioning of its components. The last part deals with the financial aspects and economic evaluation of the project.

Keywords: panel; energy; design; inverter; photovoltaics; returns

Obsah

1 Úvod do problematiky	8
1.1 Podstata přeměny slunečního záření na elektrickou energii	9
1.2 Využití slunečního záření pro výrobu elektrické energie	9
1.3 Měření slunečního záření	11
2 Komponenty fotovoltaické elektrárny	12
2.1 Fotonvoltaický článek	12
2.1.1 Charakteristika solárního článku	12
2.1.2 Výkon solárního článku	12
2.1.3 Podíl instalovaných článků ve světě	13
2.2 Typy fotovoltaických článků	14
2.2.1 Monokrystalické články	14
2.2.2 Polykystalické články	14
2.2.3 Tenkovrstvé články	14
2.2.4 Amorfni křemíkové články	15
2.2.5 Další druhy článků	16
2.3 Recyklace fotovoltaických článků	16
2.4 Druhy solárních elektráren	17
2.4.1 Síťové systémy (on-grid)	17
2.4.2 Ostrovní systémy (off-grid)	18
2.5 Instalace podle druhu střechy	19
2.5.1 Instalace na šikmé střechy	19
2.5.2 Instalace na ploché střechy	19
2.6 Elektronický měnič napětí – střídač	20
3 Legislativa upravující provozování fotovoltaických elektráren	21
3.1 Zákony	21
3.2 Potřebná povolení	21
3.3 Daňová legislativa	22
3.3.1 Odpisy	22
3.4 Zelená úsporám	22
4 Skutečný návrh fotovoltaického systému na střechu objektu	23
4.1 Popis objektu	23

4.2 Výběr fotovoltaického panelu	24
4.3 Možnosti umístění panelů	25
4.4 Výběr montážního systému	26
4.5 Výpočet plochy pro možnost instalace panelů	26
4.5.1 Jižní část objektu SO02	26
4.5.2 Severní část objektu SO04	27
4.5.3 Západní část objektu SO03	28
4.6 Návrh střídače	29
4.6.1 Jižní část objektu SO02	29
4.6.2 Objekty SO04 a SO03	30
4.7 Ochrany a jištění	30
4.8 Výběr kabelů pro instalaci	31
4.9 Výpočet ztrát systému	32
5 Návrhnost fotovoltaické elektrárny	34
5.1 Vstupní údaje pro ekonomické vyhodnocení projektu	34
5.2 Investiční výdaje	34
5.2.1 Objekt SO02	35
5.2.2 Objekt SO03 a SO04	36
5.3 Výpočet vyrobené energie	37
5.3.1 Výpočet odhadem:	37
5.3.2 Výpočet pomocí aplikace Photovoltaic geographical information systém (PVGIS)	38
5.3.3 Vypočtené hodnoty	39
5.4 Spotřeba objektu	40
5.5 Odhad spotřebované energie v objektu	41
5.5.1 Celková instalace	41
5.5.2 Instalace pouze jedné části systému	42
5.6 Finanční hodnocení investice	42
Závěr:	46
Seznam obrázků	47
Seznam tabulek	48
Seznam příloh	49
Bibliografie	50

1 Úvod do problematiky

Výstavba solárních elektráren je v současné době velmi diskutovaným problémem. V minulých letech se díky státní podpoře postavilo velké množství solárních elektráren, které byly velice výhodné díky podpoře na výkup vyrobené elektrické energie. Tato státní podpora od začátku roku 2014 skončila. V současné době se povolují instalace pouze na střechy objektů, kde se počítá s velkou částí vlastní spotřebované elektrické energie, jelikož výkupní cena vyrobené elektrické energie je velmi malá.

Úkolem této práce je navržení sluneční elektrárny na střechu rodinného domu a její ekonomické zhodnocení pro rok 2015, kdy se nepočítá s žádnou státní finanční podporou.

Tento projekt je navrhován na rodinný dům, u kterého majitel uvažuje o instalaci fotovoltaických panelů z důvodu vysoké spotřeby elektrické energie.

V teoretické části práce jako první rozebírám teorii přeměny slunečního záření na elektrickou energii a přibližuji jednotlivé komponenty nutné k výstavbě sluneční elektrárny. Je zde také popsána současná legislativa pro výstavbu a provoz slunečních elektráren.

V praktické části porovnávám technické návrhy dvou možností instalace panelů. Jedna možnost je instalace pouze na střechy, které jsou z hlediska možnosti instalace nejvhodnější. Druhá možnost zahrnuje i majitelem uvažovanou přestavbu části střechy, kde se nyní nacházejí vikýře, které chce majitel v budoucnu demontovat.

V praktické části se zabývám taktéž ekonomickou stránkou projektu. V této části porovnám dvě navrhované možnosti a pomocí ekonomických kritérií zhodnotím návratnost investice.

1.1 Podstata přeměny slunečního záření na elektrickou energii

Slunce je v podstatě nevyčerpatelnou zásobárnou energie. S přeměnou solární energie se můžeme potkat již ve starověku, kdy se používala zejména pro ohřev vody. Tento systém se používá i v dnešní době a to ve slunečních kolektorech. V této práci se ale budu věnovat pouze solárním panelům.

Princip fotovoltaické přeměny energie závisí na přeměně v polovodičových fotovoltaických článcích. V krystalických solárních článcích je krystalická mřížka Článek je složen ze dvou rozdílně dotovaných křemíkových vrstev. Vrstva jež je na osvitové straně je záporně dotovaná fosforem, naopak strana pod ní je kladně dotovaná borem. Mezi těmito vrstvami vzniká vnitřní elektrické pole, které je způsobeno přechodem nadbytečných elektronů z polovodiče N do polovodiče P. Náboje jsou přitahovány díky vnitřnímu elektrickému poli opačnými směry. Záporné jsou přitahovány k osvětlené straně a kladné k zadní straně. Na základě opačné polarity vzniká v článku elektrické napětí.

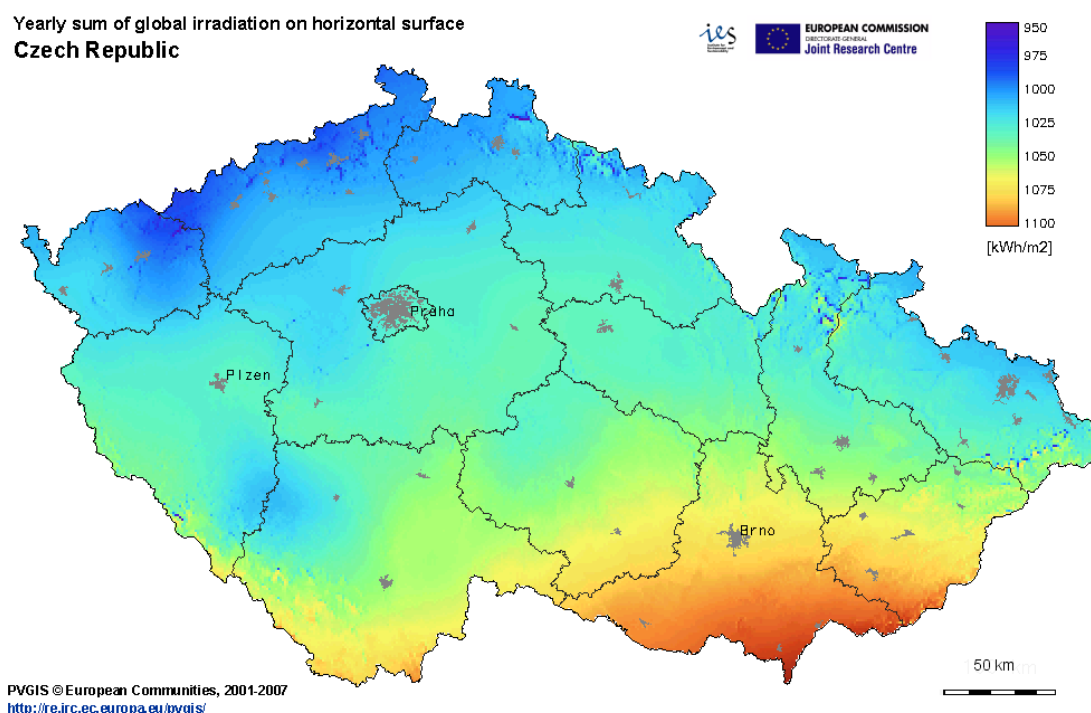
1.2 Využití slunečního záření pro výrobu elektrické energie

Spotřeba elektrické energie lidstva je v současnosti pokrývána nejvíce tepelnými a jadernými elektrárnami. K tomu je ale potřeba neobnovitelných zdrojů energie, které rychle docházejí. Solární elektrárny jsou jedním z řešení, jak omezit závislost na těchto zdrojích. Například na plochu běžného rodinného domu za rok dopadne přibližně kolem 100 MWh. Obvyklá spotřeba domácnosti je naproti tomu jen kolem 5 MWh elektrické energie za rok. Solární článek má také s porovnáním s dalšími obnovitelnými zdroji energie mnohem větší možnost použití.

Na vnější povrch atmosféry dopadá sluneční záření v nerozptýlené formě. Toto záření jsou v podstatě paprsky přímo ze slunečního kotouče. Když sluneční

záření vstoupí do atmosféry začne docházet k jeho rozptýlení na vodních kapkách a prachu. Sluneční záření se dělí na difuzní a přímé záření. Difuzní nemá směrový charakter, přichází ze všech směrů se stejnou intenzitou. Přímé záření není rozptýlené. Výkonová hustota záření je velice závislá na úhlu dopadu. [1]

Při výpočtech návrhu fotovoltaických elektráren je hlavním parametrem celková energie, která dopadne za zkoumané časové období na určitou plochu. Na Zemi je sluneční záření ovlivňováno aktuálním počasím, znečištěním, aktuální polohou Slunce a také stíněním od jiných objektů na Zemi. Na obrázku č. 1 je mapa České republiky s vyznačením celkového úhrnu globálního slunečního záření na obecně orientovanou plochu na zemském povrchu za zkoumané časové období.



obr. 1 Mapa slunečního záření [2]

1.3 Měření slunečního záření

Údaje o celkovém množství energie dopadlé na určitou a rozložení na přímou a difuzní složku se měří nejčastěji na meteorologických stanicích přístrojem zvaným pyranometr. V pyranometru se porovnává teplota černého a bílého povrchu pod skleněným krytem a rozdíl teplot měřený souborem termočlánků je úměrný intenzitě dopadajícího slunečního záření. Pyranometr není schopen rozdělit přímou a difuzní složku. K tomu slouží pyrliometr. Funguje stejně jako pyranometr, ale čidlo je umístěno v trubici, pomocí které jsou vymezeny úhly, ze kterých sluneční záření dopadá. [3]

2 Komponenty fotovoltaické elektrárny

2.1 Fotovoltaický článek

2.1.1 Charakteristika solárního článku

Elektrické vlastnosti solárního článku se popisují pomocí voltampérové charakteristiky. Charakteristické hodnoty této křivky jsou hodnoty proudu nakrátko a napětí naprázdno. Proud nakrátko je maximální možný proud, který je schopný článek dodávat při určitém slunečním záření. Tento proud závisí na intenzitě záření a na velikosti daného článku.

Další bod, který nás zajímá na voltampérové charakteristice je napětí naprázdno. Tento bod udává maximální napětí, pokud ze solárního článku nic neodebíráme. U monokrystalických má hodnotu přibližně 0,6 V.

Posledním bodem, který nás zajímá je pracovní bod. Poloha tohoto bodu závisí na odběru z článku.

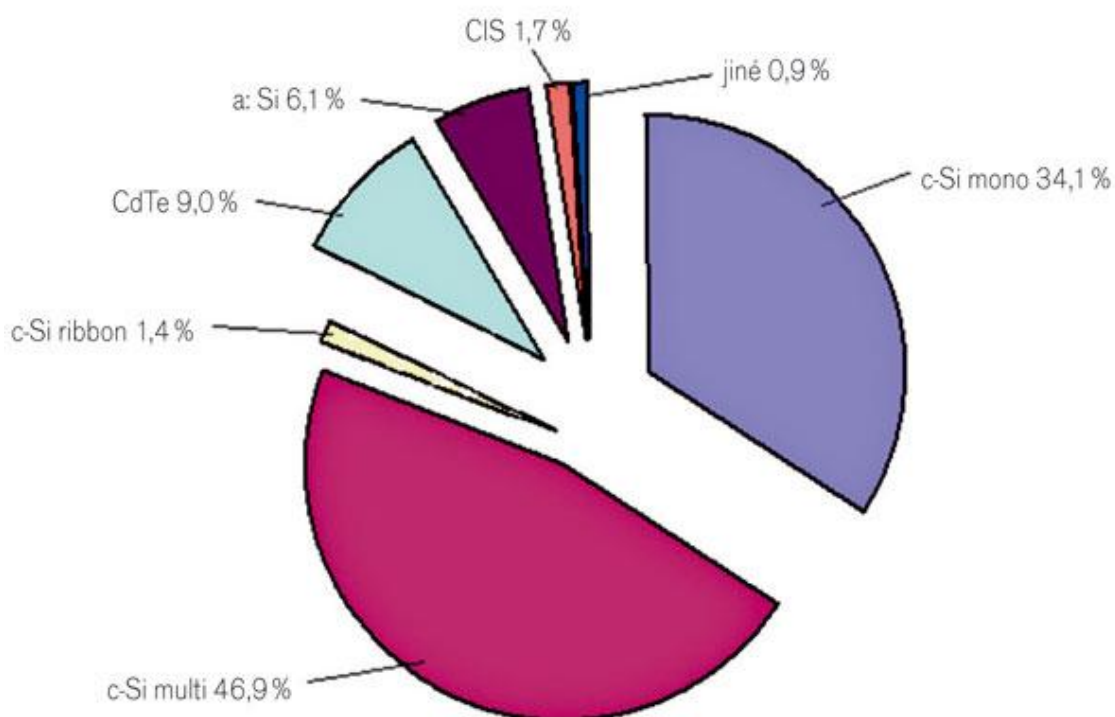
2.1.2 Výkon solárního článku

Pro solární článek existuje pracovní bod na voltampérové charakteristice, kde výkon dosahuje maxima. Tento bod je označován jako bod maximálního výkonu (MPP) Maximum Power Point. Nejvíce používané články dosahují výkonu 3 W. Skutečný výkon záleží na spektru světla, teplotě a na ozáření.

Intenzita záření má největší vliv na výkon článku. Proud a výkon článku je přímo úměrný ozáření.

2.1.3 Podíl instalovaných článků ve světě

V současné době jsou na trhu s fotovoltaickými panely nejrozšířenější panely z krystalického křemíku. Křemík je velmi dostupným prvkem na Zemi, není jedovatý a dá se dobře recyklovat. V současné době je nejrozšířenější materiál pro solární panely odpad křemíku z výroby elektronického průmyslu. V současnosti nejvíce vyráběné jsou monokrystalické, polykrystalické a tenkovrstvé články. U tenkovrstvé technologie se využívají amorfní, mikromorfní a CIS články.



obr. 2 Podíl jednotlivých technologií ve světě [4]

2.2 Typy fotovoltaických článků

2.2.1 Monokrystalické články

Články tohoto typu se skládají z jediného krystalu. *Výroba monokrystalických ingotů probíhá tzv. Czochralskiho metodou. Do taveniny o teplotě cca 1 415 °C se ponoří malý monokrystal jako zárodek. Ten se velmi pomalu z taveniny vytahuje a přitom se nechává otáčet kolem podélné osy. Celý proces probíhá v inertní atmosféře za sníženého tlaku.* [5] Poté se ingot nařeže na destičky o tloušťce 0,3 mm. Tento typ je v důsledku toho, že je vyroben z jediného krystalu zbarven do tmavě modré až černé barvy. Monokrystalické články dosahují účinnosti až 21 %.

2.2.2 Polykrystalické články

Tento typ je na výrobu levnější než monokrystalický. Vyrábí se metodou blokového lití, kdy se křemík ve vakuu zahřeje na 1 500 °C a ochlazuje se až do bodu tání. Tím vzniknou bloky křemíku, které se pak následně rozřezávají na tyče a poté na destičky. Zbarvení mají modře se třpytící krystalickou strukturu. Účinnost těchto článků se pohybuje v rozmezí mezi 13 až 16 %. [5]

2.2.3 Tenkovrstvé články

Budoucností solární techniky jsou tenkovrstvé články. Jejich výroba je podstatně levnější než výroba krystalických článků, tudíž i jejich návratnost je rychlejší než-li u současných technologií. Podíl tenkovrstvých modulů se na trhu neustále zvětšuje. V současnosti se pohybuje kolem 20 %. Využití tohoto typu modulů je velmi široké. Jejich hlavní výhodou je flexibilita, možnost aplikace na různé plochy, díky možnosti průhlednosti materiálu instalace na okna a stěny mrakodrapů. Hlavní výhodou ale je snadná výroba oproti klasické technologii

křemíkových destiček. V současné době jsou instalace tenkovrstvých a klasických krystalických srovnatelně finančně srovnatelné. U větších výkonů již tenkovrstvé technologie vyjdou v návratnosti lépe než krystalické. Tenkovrstvé články se častou používají v historických částech měst, kdy je požadavek na nenarušení klasického vzhledu střechy.

Výroba tenkovrstvých článků je odlišná od výroby krystalických. Na různé materiály (sklo, plast, aj.) se nanáší vrstva tenká několik mikrometrů při teplotách v rozmezí 200 °C až 500 °C. Oproti krystalickým článkům je taktéž rozdílný systém elektrického spojení. U tenkovrstvých panelů je elektrické propojení integrováno již do výroby článků. [5]

Nevýhodou tenkovrstvých článků je jejich menší účinnost. Jejich účinnost se pohybuje mezi 6 - 10 %. U větších instalací se ale tento rozdíl smazává.

2.2.4 Amorfnní křemíkové články

První články tohoto typu byly vyvinuty v roce 1974. Ve velké míře se začaly používat v kalkulátorech, hodinkách atd. *Amorfnní křemík netvoří pravidelnou krystalickou strukturu, nýbrž neuspořádanou síť. Vyrábí se chemickým odlučováním při teplotách jen 200 °C z plynného silanu. Dotovaný amorfnní křemík má velmi krátkou difuzní vzdálenost, volné nosiče náboje by ihned opět rekombinovaly, příspěvek k výrobě proudu je tedy sotva možný. Nápravu zajišťuje vestavba intrinsické vrstvy mezi vrstvy P a N, ve které je životnost nosičů nábojů podstatně vyšší. Zde se odehrává absorpce světla a vytváření náboje, kdežto vrstvy P a N vytvářejí elektrické pole, které uvolněné nosiče náboje odděluje.* [5]

Tyto články mají malou účinnost. Většinou se pohybuje mezi 5 - 10 %. V prvním roce tato účinnost ještě výrazně klesá z důvodu degradace světlem. Po tomto procesu se účinnost udrží na stejné hladině.

2.2.5 Další druhy článků

Výrobci solárních článků v posledních letech přicházejí na trh s novými technologiemi výroby článků. Jendou z nich jsou mikromorfní články, které jsou kombinací mikrokrystallického a amorfního křemíku v tandemových článcích. Tyto články mají účinnost až 11 %. Výrobci musejí dořešit problémy při nanášení kontinuálních vrstev.

Velký rozmach zažívá v dnešní době technologie CIS založená na dvojselenidu mědi-india. Tyto články dosahují nejvyšších účinností u tenkovrstvých technologií, ale je u nich problém se stabilitou v horkém a vlhkém prostředí.

Poslední jmenovanou technologií jsou články na bázi teluridu kademnatého. Polovodičové vrstvy se nanášejí při 700 °C ve vakuu. Tyto moduly se především objevují u velkých instalací. Jejich účinnost je 11 % a maximální systémové napětí mají 1 000 V. [5]

2.3 Recyklace fotovoltaických článků

Podle zákona č. 229/2014 Sb. [6] platí pro recyklaci fotovoltaických panelů následující podmínky:

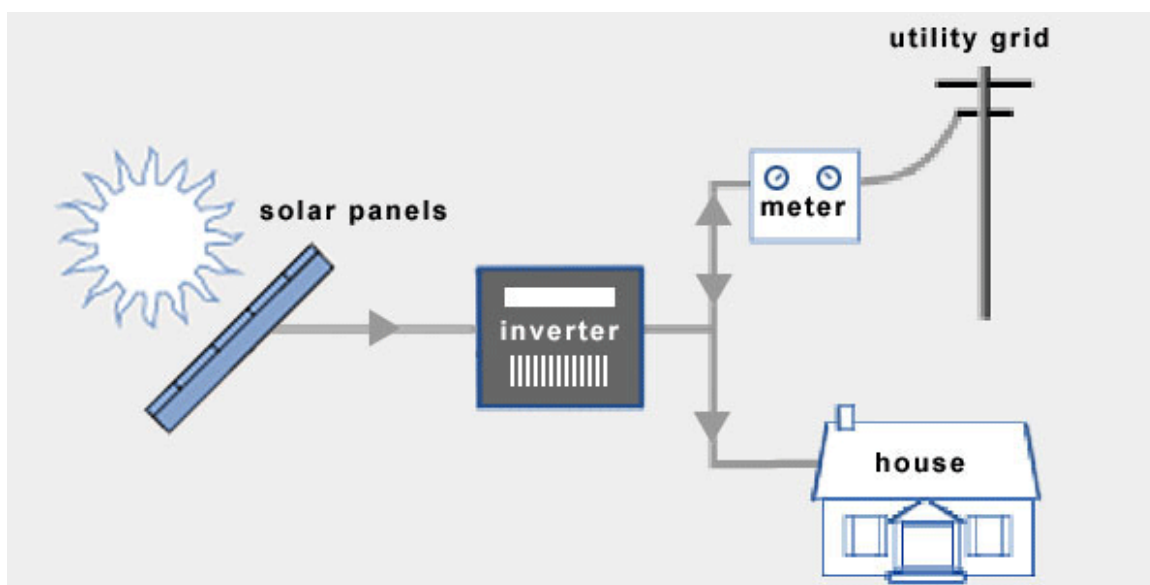
U fotovoltaických panelů uvedených na trh po 1. lednu 2013 zodpovídá za financování výrobce, podmínky jsou v podstatě shodné s financováním nakládání s elektrozařízením pocházejícím z domácností včetně možnosti volby individuálního nebo kolektivního systému, přičemž ve druhém případě výrobce nemusí poskytovat finanční záruku prokazující, že nakládání s elektroodpadem ze solárních panelů bude finančně zajištěno. [7]

2.4 Druhy solárních elektráren

Solární instalace se dělí na dvě základní. Systémy připojené k síti (on-grid) a ostrovní systémy (off-grid). Ostrovní systémy se dělí dále na systémy bez podpory dalšího zdroje výroby elektřiny a s podporou například diesellového agregátu.

2.4.1 Síťové systémy (on-grid)

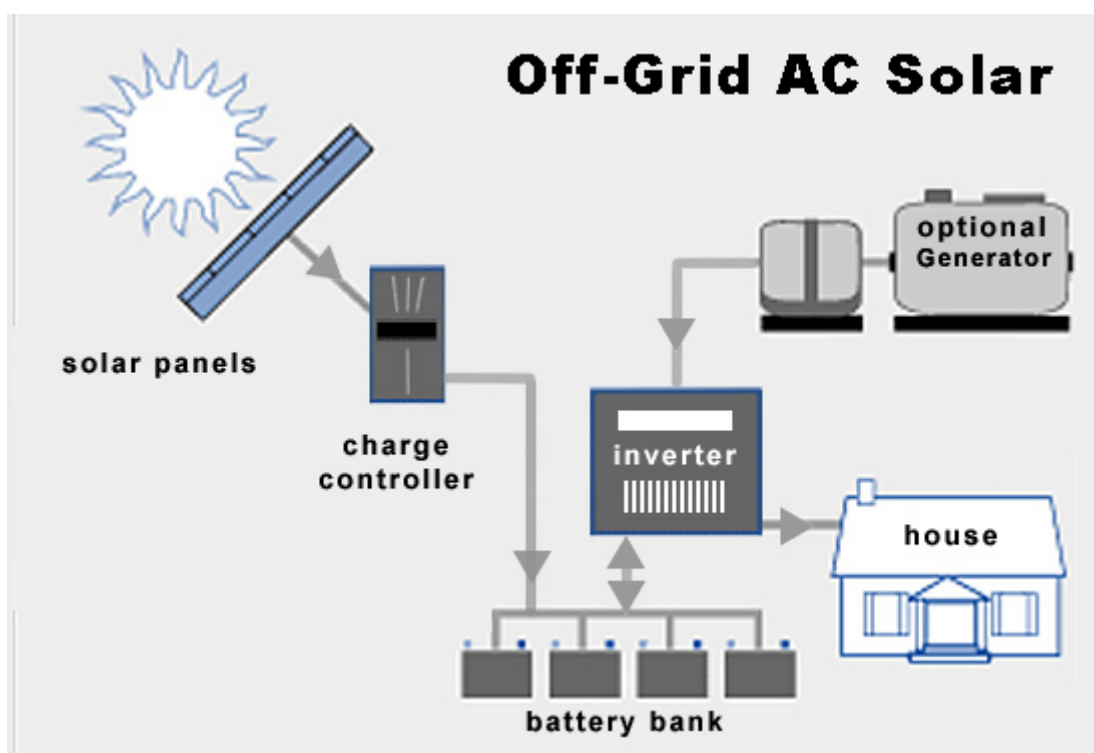
Tyto systémy se používají nejvíce při instalacích v oblastech s hustou sítí elektrické rozvodné soustavy. Pro tyto instalace je nutné získat povolení připojení k síti od distribuční společnosti. Dříve se tyto systémy instalovaly volných prostranstvích. Nyní se v České republice povolují většinou jenom instalace na střechy rodinných domů a průmyslových závodů a to do výkonu 30 kWp.



obr. 3 Schéma zapojení on-grid systému [8]

2.4.2 Ostrovní systémy (off-grid)

Tyto systémy se používají na místech kde není k dispozici připojení k rozvodné síti. Ostrovní systémy se využívají především tam, kde by bylo z hlediska finanční a technické náročnosti složité vybudovat elektrickou přípojku. [5] Z důvodu výroby fotovoltaické elektrárny pouze přes den jsou tyto systémy vybaveny akumulátory a často také dalším zdrojem elektrické energie. Nejčastěji jsou použity dieselové agregáty, méně často je fotovoltaická elektrárna v kombinaci s dalším obnovitelným zdrojem, například vodní nebo větrnou elektrárnou.



obr. 4 Schéma zapojení off-grid systému [8]

2.5 Instalace podle druhu střechy

Instalace fotovoltaických elektráren se dále dělí podle typu střechy kde jsou moduly instalované. Nezabýváme se dále instalacemi na volném prostranství. Tento typ instalace se již nepovoluje na území České republiky.

2.5.1 Instalace na šikmé střechy

U instalací na šikmé střechy se ve většině případů montují panely na konstrukci vodorovnou se střešní krytinou. Panely by se měly instalovat pomocí posuvných háků více než 1 cm nad střešní krytinu, jelikož při menší vzdálenosti mohou při mlze vznikat napěťové špičky. Ideální vzdálenost je 3 cm od krytiny, v tomto případě funguje dobře sací efekt pro chlazení panelů. U některých instalací je potřeba použít tzv. křížovou montáž lišt, kdy se přes základní lišty instaluje kolmo další konstrukce lišt. V tomto případě je nutný posudek statika z hlediska možného poškození větrem.

2.5.2 Instalace na ploché střechy

U střech se sklonem menší než 10 % se používají systémy pro ploché střechy. U těchto instalací je největším problémem statika celého systému. Instalací na vyšší budovy se fotovoltaické panely stávají velkou překážkou větru a je nutné před instalací získat vyjádření statika z hlediska zatížení větrem a sněhem. U instalací na ploché střechy u továren se často kombinuje umístění panelů na východ a jih. Panely instalované na východ pokrývají odběrové špičky při ranním nástupu zaměstnanců.

2.6 Elektronický měnič napětí – střídač

Fotovoltaické panely generují stejnosměrný proud. Pokud chceme elektřinu dodávat do sítě nebo spotřebovat v objektu, je potřeba změnit stejnosměrný proud na střídavý a napětí upravit tak, aby odpovídalo napětí sítě nebo přístrojů napájených z fotovoltaické elektrárny.

Podle použití dělíme měniče na:

- ostrovní
- síťové

U síťových měničů je velmi důležité, aby při výpadku rozvodné sítě došlo také k odpojení měničů. Tyto měniče si sami synchronizují kmitočet podle kmitočtu rozvodné sítě.

Dále se dělí měniče na:

- transformátorové
- beztransformátorové

Transformátorové měniče se používají u větších instalací fotovoltaiky. Tento měnič zajistí galvanické oddělení od sítě. Pro střešní instalace na rodinných domech se používají menší a levnější beztransformátorové měniče.

Posledním dělením je dělení podle výkonu:

- modulové
- řetězcové
- centrální

Pro střešní instalace se nejčastěji používají centrální měniče, které jsou levnější oproti dalším dvěma typům, mají ale horší sledování bodu maxima. [9]

3 Legislativa upravující provozování fotovoltaických elektráren

3.1 Zákony

V našem případě bude instalována fotovoltaická elektrárna na již dokončenou stavbu, tudíž se jedná o změnu dokončené stavby. Podle stavebního zákona 183/2006 Sb. [10] ve znění pozdějších předpisů nevyžadují tyto stavební úpravy územní souhlas ani rozhodnutí o změně stavby.

Hlavním zákonem zabývajícím se výrobou elektrické energie je Energetický zákon č. 458/2000 Sb. [11] ve znění pozdějších předpisů. Tento zákon stanovuje právo výrobce připojit fotovoltaickou elektrárnu k distribuční soustavě za podmínek, které jsou stanoveny v tomto zákoně.

Dalším důležitým dokumentem při stavbě fotovoltaické elektrárny je norma ČSN EN 62446 [12], která určuje minimální požadavky na systémovou dokumentaci, zkoušky při uvádění do provozu a kontrolu fotovoltaické elektrárny.

3.2 Potřebná povolení

Co je tedy potřeba pro povolení výstavby fotovoltaické elektrárny? V první řadě je to žádost o souhlas s připojením elektrárny do distribuční sítě. V našem případě je to společnost EON Distribuce.

Dalším krokem před zahájením výroby je vyřízení licence na Energetickém regulačním úřadě. Zde se podá Žádost o udělení licence pro podnikání v energetických odvětvích.

U distributora elektřiny je nutné vyřídit Žádost o první paralelní připojení. Posledním krokem je registrace v systému OTE (Operátora trhu s elektřinou).

3.3 Daňová legislativa

Provozování fotovoltaické elektrárny je podnikáním podle Energetického zákona č. 458/2000 Sb. [11] ve znění pozdějších předpisů. Pokud bude navrhovaná elektrárna připojena do sítě a tudíž bude generovat zisk z prodeje přebytků, je nutné podle zákona a paragrafu § 7 o daních z příjmu č. 586/1992 ve znění pozdějších předpisů [13] potřeba každý rok podat daňové přiznání. Daň ze zisku je v současnosti nastavena na 19 %. Tato daň se uplatňuje i na ušetřenou elektrickou energii.

3.3.1 Odpisy

Fotovoltaická elektrárna jako celek patří do odpisové skupiny č. 4 – Stavba elektráren (díla energetická výrobní) SKP 2302 s dobou odpisu 20 let. V roce 2011 byly upraveny odpisové skupiny pro fotovoltaické elektrárny. Pro fotovoltaickou elektrárnu umístěnou na střeše domu se dělí do třech odpisových skupin. Nosné konstrukce a kabeláž se zařezují do páté odpisové skupiny, panely a měniče do třetí odpisové a samostatné články například u montáže solárních tašek se řadí do druhé odpisové skupiny. [14]

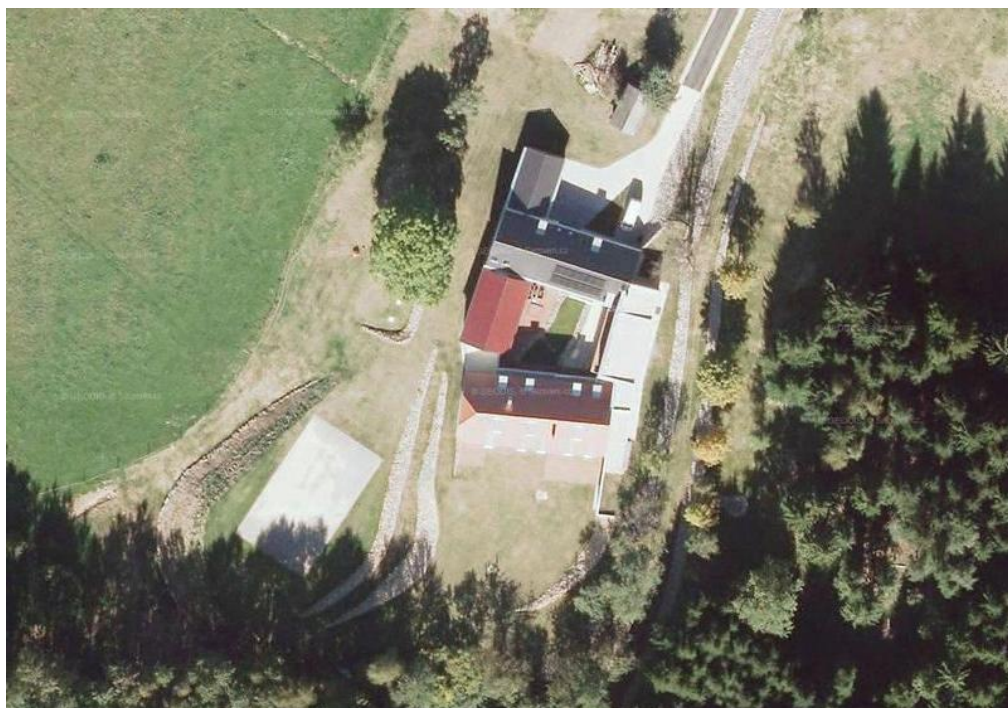
3.4 Zelená úsporám

Podpora Zelená úsporám skončila k 1.lednu 2014. V Cenovém rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 4/2013 [15], které bylo vydáno dne 27. listopadu 2013, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie, byla zrušena podpora pro nové FVE. V současnosti se jedná o nové podpoře pro střešní instalace do výkonu 10 kWp. V roce 2015 je podporovaná pouze výstavba solárních kolektorů na ohřev vody. Z tohoto důvodu v propočtech návratnosti nemůžeme počítat s touto položkou. Hlavním zdrojem finančních úspor bude vlastní spotřeba objektu.

4 Skutečný návrh fotovoltaického systému na střechu objektu

4.1 Popis objektu

Předmětem tohoto projektu je záměr instalace fotovoltaických panelů na střechu rodinného domu. Na začátku projektu je potřeba zjistit několik základních informací, které jsou hlavními body pro úspěšný projekt. V první řadě je vhodnost lokality pro instalaci solárních panelů a velikost možných ploch pro instalaci panelů. Obytný dům se nachází v jižních Čechách v obci Jáma v nadmořské výšce 675 metrů. Dům se nachází na svahu orientovaném na západ. V současné době je užíván převážně jako rekreační objekt pro majitele. Objekt není po celý den významně zastíněn okolním porostem. Část stromů z jižní strany pozemku byla vykácena. Na obrázku č. 5 je satelitní snímek domu stažený z portálu mapy.cz.



obr. 5 Satelitní snímek rodinného domu [16]

4.2 Výběr fotovoltaického panelu

Na trhu je velké množství fotovoltaických panelů. V první řadě investory zajímá poměr ceny a výkonu panelu. Fotovoltaický panel jsem vybral po konzultaci s firmou Tribase Networks od firmy IBC Solar. Tuto značku jsem vybral, jelikož se jedná osvědčený výrobek s 10 - letou zárukou na kvalitu materiálu a nově s antireflexní vrstvou, která zachytí větší množství slunečních paprsků. Velice důležitým údajem je roční ztrátový výkon panelu. U vybraného panelu je deklarována hodnota 0,8 %. Tuto hodnotu má firma ověřené z jejich testovací elektrárny v Německu. Některé levnější panely jiných značek na této testovací elektrárně dosáhly velmi špatných hodnot. Základní údaje panelu jsou v tabulce níže a datasheetu v příloze, cena za Wp je 18,4 Kč bez DPH. Cena za jeden panel je 4 800 Kč bez DPH.

Výrobce: IBC Solar

Modelová řada: Ecoline

Výkon: 260 Wp

Účinnost panelu: 15,9 %

Nominální napětí U_{mpp} : 31,1 V

Nominální proud I_{mpp} : 8,37 A

Napětí naprázdno U_{oc} : 38,1 V

Zkratový proud I_{sc} : 8,98 A

Maximální systémové napětí: 1 000 V

Koeficient teplotních ztrát P_{mpp} : - 0,43 %/°C

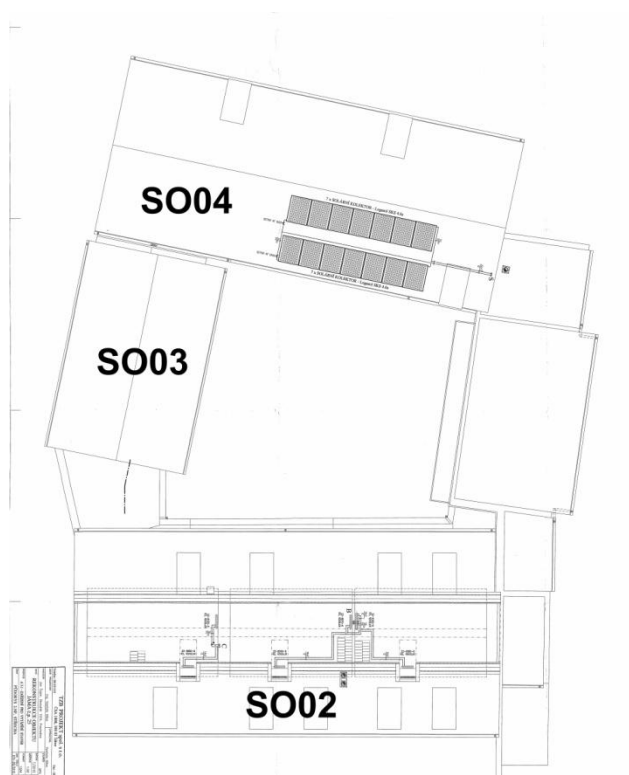
Váha: 20,5 kg

Rozměry: 1 650 mm x 992 mm x 45 mm

Cena: 4 800 Kč bez DPH [17]

4.3 Možnosti umístění panelů

Pro umístění solárních panelů jsou na objektu k dispozici 4 střechy. Nejvhodnější umístění fotovoltaických panelů je na střechy orientované na jih. Takto orientované střechy jsou na objektu dvě. Jedna z nich, SO04, která je na severní části objektu, je již osazena 14-ti solárními kolektory pro ohřev vody. Pro instalaci fotovoltaických panelů je zde dostatek místa na západní části střechy. Další možností instalace je druhá jižně orientovaná střecha SO02. V současnosti se nachází na střeše vikýře, se kterými investor v případě stavby nepočítá. Z hlediska instalace by tyto vikýře nepříznivě zastiňovaly panely a byla by mezi ně náročná montáž jednotlivých panelů. Do projektu a do výsledné ceny je tedy nutné započítat demontáž těchto vikýřů a následnou úpravu střechy a interiéru domu. Další možnou plochou pro instalaci panelů, je střecha nad bazénem v západní části objektu SO03. Poslední možnou částí střechy je plochá střecha na východní straně objektu. Pro tuto část střechy se v tomto projektu nepočítá. Na obrázku č. 6 je náčrtek střech pro lepší orientaci v rozmístění.



obr. 6 Náčrtek střech

4.4 Výběr montážního systému

Montážní systém jsem zvolil takéž od firmy IBC Solar řadu IBC Topfix 200. [18] Z projektové dokumentace jsem ověřil, že tepelná izolace není uložena nad krokvemi, tudíž můžeme použít tento standardní systém upevnění. Ke krokvím se přichytí háky a osadí se montážními lištami. V tomto projektu se budou instalovat montážní lišty dvěma způsoby. Vodorovně se budou instalovat lišty k uchycení spodních dvou řad panelů. Svisle se budou instalovat lišty v horní řadě fotovoltaického pole, kde budou panely instalovány vodorovně. Před instalací je nutno ověřit vzdálenost krokví, která je u všech střech 900 - 1000 mm a vyhovuje tak dovolené vzdálenosti upevňovacích prvků. Je nutné dbát pokynů v instalačním manuálu panelů a dodržet dovolené vzdálenosti upevňovacích prvků, aby se panely neprohnuly a nezdeformovaly

4.5 Výpočet plochy pro možnost instalace panelů

4.5.1 Jižní část objektu SO02

Uvažovaná jižní část střechy pro instalaci fotovoltaických panelů má rozměry 5 535 mm x 23 265 mm. U štítové západní strany střechy musíme také počítat s valbou. Na objektu je instalován hromosvod se svody po každé straně střechy jedním uprostřed střechy. Svod hromosvodu uprostřed střechy bude po instalaci převeden na druhou část střechy. Podle normy pro hromosvody [19] je nutné dodržet vzdálenost 50 cm fotovoltaických panelů od hromosvodu. Na střeše je vyveden komín ve vzdálenosti 14 475 mm od štítové strany střechy. Instalaci panelů bude nutno rozdělit na dvě pole, kvůli nepříznivému stínění komínu. Dále je také nutné zanechat prostor pro přístup revize a případných oprav systému. Těmito omezeními vznikly na střeše dvě pole jedno s rozměrem zhruba 12 000 mm x 5 000 mm a druhé s rozměry 7 000 mm x 5 000 mm. Počet

panelů fotovoltaického pole a jeho celkovou délku jsem vypočetl podle rovnice z produktového listu [18] montážního systému. Panely mají šířku 992 mm.

$$L_{pole} = (h_m + 24\text{ mm}) \times n + 32\text{ mm} \quad (4.1)$$

kde:

- L_{pole} - je celková délka [mm]
- h_m – šířka panelu [mm]
- n – počet panelů v řadě

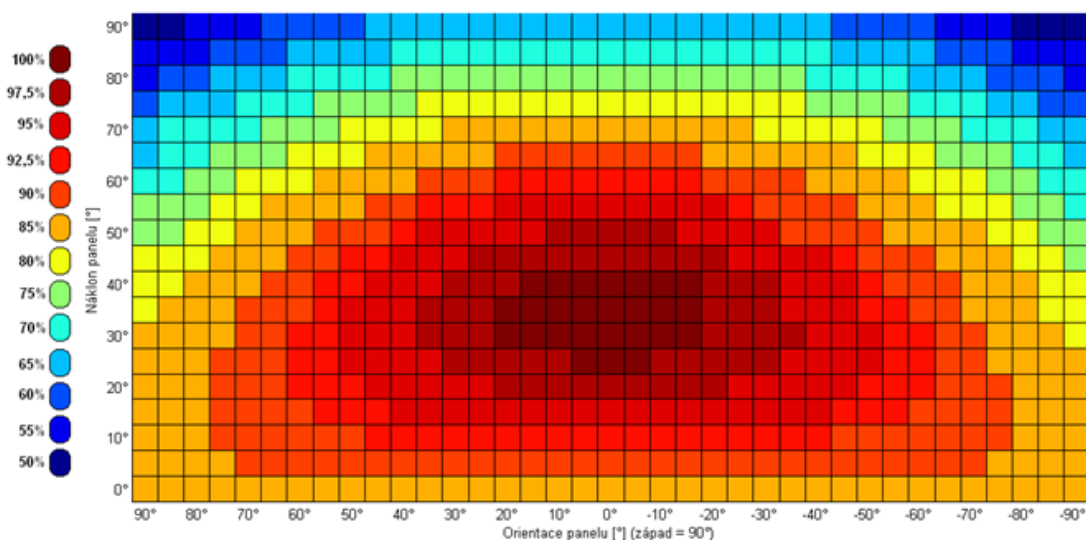
Pro první pole vychází celková délka pro 12 panelů 12 224 mm. Z celkové délky zbudou cca 2 metry, které slouží k pokrytí mezery od svodu hromosvodu a dostatečné vzdálenosti od komínového tělesa. U kratšího pole celková délka pro 7 panelů vychází 7 144 mm. Celková výška střechy je 5 535 mm. Při instalaci dvou svislých řad panelů o výšce 1 650 mm zbude pruh široký cca 2 metry. V projektu počítám s instalací vodorovně položených panelů. Na západní straně střechy je možno instalovat 6 panelů a na východní straně střechy 4 panely. Celkově tedy bude na západní straně instalováno 30 panelů a na východní straně 18 panelů. Tato instalace splňuje doporučené rozdělení polí dilatačním oddělením z důvodu tepelného namáhání konstrukce zvláště v zimních obdobích.

4.5.2 Severní část objektu SO04

Na této střeše jsou již instalované kolektory pro ohřev vody. Rozměry střechy jsou Po odečtení plochy kolektorů vyšlo, že pro plochu panelů zbývá cca 10 metrů. Při zahrnutí vzdáleností od hromosvodů a potřebného místa pro přístup pro opravy vyšlo podle rovnice 4.1, že lze na plochu nainstalovat 9 panelů. Toto bude platit pouze pro vrchní řadu. Pro spodní řadu musíme počítat s instalovanými výdechy vzduchotechniky objektu. Po odečtení této plochy zbylo pro panely 5 metrů. Podle rovnice 4.1 lze instalovat na tuto vzdálenost 5 fotovoltaických panelů. Celkově na této střeše bude instalováno 14 panelů.

4.5.3 Západní část objektu SO03

U této střechy je problém s orientací na západ a východ. Budeme počítat s instalací na obě části střechy, jak západní tak východní. Podle obrázku obr. 7 Procentní úbytek záření podle natočení orientace panelu je pro takto orientované střechy se sklonem 40° úbytek výkonu 20 %. Tato instalace by mohla pokrývat ranní a odpolední špičky. Rozměry střechy jsou 11 540 mm x 3 640 mm. Po započítání vzdáleností od hromosvodů a plochy pro přístup zbývá cca 10 metrů pro instalaci panelů. Podle rovnice 4.1 lze instalovat 10 panelů v jedné řadě. Na tyto střechy lze instalovat 2 řady nad sebou. Celkově tedy na tomto objektu bude instalováno 40 panelů.



obr. 7 Procentní úbytek záření podle natočení orientace panelu [20]

4.6 Návrh střídače

4.6.1 Jižní část objektu SO02

Před návrhem vhodného střídače je potřeba zjistit několik hlavních hodnot důležitých pro výběr. V první řadě je to špičkový výkon generátoru. V této instalaci je celkový špičkový výkon 12,28 kWp. Dále podle pravidel provozu distribučních soustav je nutno použít 3-fázový střídač. Jelikož 1-fázové střídače se mohou použít pouze do instalací s výkonem do 4,6 kVA. Generátor je rozdělen na dvě pole, z toho vyplývá, že musíme vybírat střídač se dvěma vstupy. Dalším omezením při návrhu je minimální a maximální napětí. Pole A má minimální napětí 395 V a maximální napětí 647 V. Pole A je rozděleno na 2 stringy, jelikož při zapojení všech 30 panelů by bylo moc velké maximální napětí. Pole B má minimální napětí 474 V a maximální 776 V. Posledním hlavním omezením je velikost vstupního proudu. U pole A je spočtený proud 16,8 A a u pole B je proud 8,4 A. Střídač jsem vybíral z nabídky firmy SMA. Ideálním řešením je střídač typu Sunny Tripower 12000TL-20 jehož katalogové hodnoty jsou v tabulce níže. V úvahu by připadaly i kombinace dvou střídačů, ale klesal by celkový energetický a finanční výnos. [21]

Výrobce: SMA

Typ: Sunny Tripower 12000TL-20

Maximální výkon DC: 12 275 W

Maximální vstupní proud: 18 A

Rozsah napětí MPP: 440 V - 800 V

Jmenovitý výkon AC: 12 000 W

Účinnost evropská: 97,9 % [22]

4.6.2 Objekty SO04 a SO03

Pro instalace na objektu SO04 a SO03 byl vybrán jeden společný střídač.

Pro instalaci na objektu SO03 je u obou větví minimální DC napětí 526 V a maximální 862 V. Max DC proud je 8,4 A. U instalace na objektu SO04 je minimální napětí 434 V a maximální je 647 V. Střídač jsem vybral jeden společný z hlediska lepšího poměru výkonu a ceny než u 2 samostatných střídačů. Střídač je od firmy Danfoss, Typ FLX Pro 15.

Výrobce: Danfoss

Typ: FLX Pro 15

Maximální výkon DC: 15 500 W

Rozsah napětí MPP: 430 V – 800 V

Jmenovitý výkon AC: 15 000 W

Maximální výstupní proud: 12 A

Účinnost evropská: 97,4 % [23]

4.7 Ochrany a jištění

V následujícím odstavci popíšu návrh jištění pro realizaci na objektech SO03 a SO04. Schéma zapojení je v příloze č. 3. Pro lepší přehlednost je kresleno jako 1 fázové.

U fotovoltaické instalace je nutné navržení dobrého jištění, jak proti přepětí tak i zkratové ochrany. S popisem návrhu začnu ze směru od fotovoltaického pole. Jištění bude navrženo od firmy Schneider Electric, kde pracuji a mám nejlepší přístup k cenám a popisu výrobků. Zároveň se jedná o velmi kvalitního výrobce jistících prvků. Pro zajištění bezpečnosti při údržbě střídače nebo jeho

výměny je nutné před střídač osadit DC odpínač. Mnou zvolený odpínač je typ SW60-DC. Jeho pracovní napětí je 1 000 V DC a pracovní proud 50 A. Ztrátový výkon je 12,54 W. Na ochranu při vzniku poruchového proudu jsem navrhnul jistič C60PV-DC 10 A. Odpínač C60NA-DC slouží k odpojení jednotlivých stringů. U přepětové ochrany, pokud nesplňují instalace vzdálenost od hromosvodů nebo je DC kabel delší než 30 m, je nutné osadit přepětovou ochranou nejen u panelů, ale i na straně střídače. U instalací, které nedodrží vzdálenost od hromosvodů, je potřeba společné pospojování zemnicích prvků s konstrukcí elektrárny. Pro bezpečnost proti přepětí jsem osadili svodičem přepětí iPRD-DC40r 1000PV na straně vedení u panelů. Jeho pracovní napětí je 1 000 V DC a jmenovitý proud je 15 A. Ztrátový výkon se nepodařilo zjistit. Pro odpojení AC strany u měniče použijeme 3 - fázový stykač iCT se jmenovitým proudem 25 A. Dále musí být zajištěna ochrana proti přepětí na AC straně. Byl zvolen typ iPRF1 12,5r. Tento typ musí být instalován s předřazeným odpojovacím přístrojem. Byl zvolen jistič na 20 A. Dále je potřeba osadit instalaci elektroměrem, byl zvolen typ iEM3155. Tento elektroměr slouží k měření vyrobené energie, je cejchovaný a je schopný vzdálené komunikace. Dále je potřeba osadit hlavním vypínačem pro odpojení celého systému elektrárny. [24] .

4.8 Výběr kabelů pro instalaci

Při projektování fotovoltaických instalací, by se měla omezit délka vedení. Ztráta ve vedení by neměla překročit 1 %. Je také nutné dodržet napětovou pevnost a proudovou zatížitelnost. Stejnosměrné vedení propojuje panely se střídačem a střídavé vedení propojuje střídač s hlavní domovní sítí a distribuční sítí.

4.9 Výpočet ztrát systému

U vedení DC jsem zvolil průřez 6 mm², podle katalogové hodnoty firmy Konex je činný odpor 3,23 mΩ/m. Ztráty pro 20 metrů DC vedení se vypočtou dle následující rovnice: [25]

$$P_{ztrátyDC} = l \times R_{DC} \times I^2 \quad (4.2)$$

kde

- $P_{ztrátyDC}$ – ztráty v DC vedení [W]
- R_{DC} – činný odpor na 1 metr [mΩ]
- l – délka DC vedení [m]
- I – proud vedoucí z panelů [A]

Pro jeden kabel vedení je ztráta na 20 metrech 4,5 W. Jelikož DC rozvody jsou vedeny dvěma kabely. Celková ztráta ve vedení bude 9 W. S délkou 20 m počítáme u obou instalací. [26]

U vedení AC jsem zvolil průřez 4 mm², podle katalogové hodnoty firmy Konex je činný odpor 4,9 mΩ/m. Ztráty v ztráty pro 10 metrů AC vedení se vypočtou dle následující rovnice: [25]

$$P_{ztrátyAC} = l \times R_{AC} \times I^2 \quad (4.3)$$

kde

- $P_{ztrátyAC}$ – ztráty v AC vedení [W]
- R_{AC} – činný odpor na 1 metr [mΩ]
- l – délka AC vedení [m]
- I – proud vedoucí ze střídače [A]

Pro jeden kabel AC vedení je ztráta na 10 metrech 20 W. Jelikož AC rozvody jsou 3-fázové bude celková ztráta 60 W. S délkou 10 m počítáme u obou instalací. Z vypočtených ztrát vyplývá, že ztráty ve vedení budou vždy do jednoho procenta z celkového výkonu. V tabulce č. 1 uvádím ztráty pro jednotlivé položky v instalaci. V položce ostatní ztráty jsou zahrnuty ztráty v jističích prvcích a další ztráty v systému. Celkem se jedná o 20 % ztrátu v systému, se kterou budu počítat ve finanční návratnosti.

tab. č. 1 Výkonové ztráty v návrhu

	Objekt SO02	Objekty SO04 a SO03
	Ztráty [%]	Ztráty [%]
Měnič	2,1	2,6
Záření + generátor	15	15
DC vedení	0,3	0,3
AC vedení	0,4	0,4
Ostatní	2	2
Celkem	20	20

5 Návratnost fotovoltaické elektrárny

5.1 Vstupní údaje pro ekonomické vyhodnocení projektu

Do ekonomického hodnocení projektu se počítá s řadou položek. Hlavním omezením jsou dostupné finanční prostředky zadavatele projektu. Dalšími vstupními údaji jsou investiční náklady, životnost zařízení, provozní náklady, velikost produkce energie a s tím spojené energetické úspory. V případě financování projektu úvěrem je nutné počítat s dobou splácení a úrokovou sazbou. Dále je nutné počítat s daní z příjmů v případě prodeje nespotřebované elektřiny. Prvními a hlavními údaji jsou investiční výdaje.

5.2 Investiční výdaje

Po navržení všech nutných součástí fotovoltaické elektrárny jsem podle ceníku firmy Schneider Electric nacenil jednotlivé položky. Ceny jednotlivých položek se v době instalace mohou lišit od uvedených hodnot. Jelikož provozovatel fotovoltaické elektrárny musí být plátcem DPH, ceny jednotlivých položek jsou bez DPH, která je u fotovoltaických instalací 15 %.

5.2.1 Objekt SO02

Do investičních výdajů na této části střechy je potřeba započítat v případě naší instalace demontáž vikýřů, s ním spojené úpravy střešní krytiny a úprava vnitřních obytných prostor.

tab č. 2 Naceněné položky – objekt SO02

Položka	počet ks	cena za kus bez DPH	cena bez DPH
Solární panel IBC Polysol 260	48	4 779	229 392
Střídač SMA Sunny Tripower 12000TL-20	1	66 607	66 607
C60PV DC 10 A	2	2 540	5 080
C60NA DC	2	1 800	3 600
iPRD-DC40r 1000 V	2	2 612	5 224
Odpínač SW60-DC	1	2 754	2 754
iPRF1 12,5r	1	4 977	4 977
Elektroměr DHZ 5-65 A	1	6 115	6 115
WATTrouter M MAX	1	6 000	6 000
Jistič 3f 16 A /B 10 kA	1	900	900
Stykač 3f 32 A	1	1 216	1 216
Jistič 3f 32 A /B 10 kA	1	1 000	1 000
Solární kabel CZ - 4mm ²	40	17	680
Kabel 2 x 2,5	30	17	510
Držák, nerez	130	208	27 040
Příchytka AL středová	90	47	4 230
Al příchytka krajní	30	48	1 440
Matice M10 s límcem	150	6	900
AL profil „lehký“ 6 m	18	816	14 688
Rozvodnice	2	600	1 200
Práce (demontáž vikýřů a instalace panelů)	1	100 000	100 000
Doprava	1	5 000	5 000
Revize	1	2 000	2 000
Licence	1	1 000	1 000
Územní řízení	1	500	500
Celkem bez DPH			492 053

5.2.2 Objekt SO03 a SO04

Tyto dva objekty jsem sloučil do jedné cenové nabídky jelikož v návrhu počítám se zapojením do jednoho společného střídače.

tab č. 3 Naceněné položky – objekt SO03 + SO04

Položka	počet ks	cena za kus be	cena bez DPH
Solární panel IBC Polysol 260	54	4 779	258 066
Střídač Danfoss FLX 15	1	57 916	57 916
C60PV DC 10 A	3	2 540	7 620
C60NA DC	3	1 800	5 400
iPRD-DC40r 1000 V	3	2 612	7 836
Odpínač SW60-DC	1	2 754	2 754
iPRF1 12,5r	1	4 977	4 977
Elektroměr DHZ 5-65 A	1	6 115	6 115
WATTrouter M MAX	1	6 000	6 000
Jistič 3f 20 A /B 10 kA	2	900	1 800
Stykač 3f 25 A	1	1 216	1 216
Jistič 3f 32 A /B 10 kA	1	1 000	1 000
Solární kabel CZ - 4mm ²	40	17	680
Kabel 2x2,5	30	17	510
Držák, nerez	100	208	20 800
Příchytka AL středová	120	47	5 640
Al příchytka krajní	24	48	1 152
Matice M10 s límcem	100	6	600
AL profil „lehký“ 6 m	20	816	16 320
Rozvodnice	2	600	1 200
Práce	1	20 000	20 000
Doprava	1	5 000	5 000
Licence + územní řízení	1	1 500	1 500
Revize	1	1 653	1 653
Celkem bez DPH			435 755

V případě instalace celého návrhu jsou celkové náklady 870 773 Kč bez DPH. Cena demontování vikýřů se může výrazně lišit podle zvolené firmy. S touto částí návrhu je počítáno jako s druhou uvažovanou variantou.

5.3 Výpočet vyrobené energie

Výpočet vyrobené energie fotovoltaické elektrárny za rok vypočtu dvěma způsoby. Jednak pomocí odhadu výpočtem a druhým způsobem pomocí softwaru PVGIS, který je v praxi osvědčený a hodnoty jím vypočtené odpovídají následným údajům již realizovaných instalací.

5.3.1 Výpočet odhadem:

Pro výpočet celkových výkonů instalovaných panelů musím znát množství dopadající sluneční energie v místě instalace. Podle mapy České republiky obr. 1 Mapa slunečního záření celkového dopadajícího záření na 1 m² je hodnota cca 1075 W/m². Z aplikace PVGIS [27] jsme převzal data pro měsíční úhrn slunečního záření na m². Dále je nutno počítat s vlivem orientace podle obr. 7. Z těchto hodnot vypočteme celkový výkon instalace. Pro další výpočty musíme zahrnout ztráty v záření a na generátoru, ztráty ve vedení na AC i DC straně, ztráty v měniči a nepředpokládané ztráty v systému, které jsem spočetl v kapitole 3.7.

tab č. 4 Množství dopadajícího slunečního záření na plochu panelu pro jednotlivé měsíce

měsíc	Množství dopadajícího slunečního záření na plochu panelu	měsíc	Množství dopadajícího slunečního záření na plochu panelu
leden	36 580	červenec	157 170
únor	43 120	srpen	132 680
březen	89 280	září	92 100
duben	126 900	říjen	61 690
květen	145 080	listopad	30 300
červen	151 500	prosinec	22 258
		celkem	1 088 658

Nyní přejdu k výpočtu celkového dopadajícího záření pro jednotlivé měsíce. Pro výpočet je následující vzorec.

$$E_{celk} = \frac{E_{dopadu} * P_{inst} * k_{sklonu} * ztráty}{1000} \quad (5.1)$$

kde:

- E_{celk} – množství vyrobené energie [kWh]
- E_{dopadu} – solární radiace na panel [Wp/m_2]
- P_{inst} – celkový výkon instalace [kWp]
- k_{sklonu} – vliv sklonu a orientace panelů
- $ztráty$ – celkové ztráty v systému

5.3.2 Výpočet pomocí aplikace Photovoltaic geographical information systém (PVGIS)

K porovnání přiložím do výsledných tabulek hodnoty z modelu PVGIS. Jedná se o model, který byl vytvořen výzkumným centrem Evropské komise. Je volně dostupný přes webové stránky. [27] Tento systém sbírá data z 566 pozemních stanic v Evropě. Je schopný také rozlišit u zadaného místa reliéf krajiny a nadmořskou výšku a tím více zpřesnit výpočty o celkovém dopadu slunečního záření.

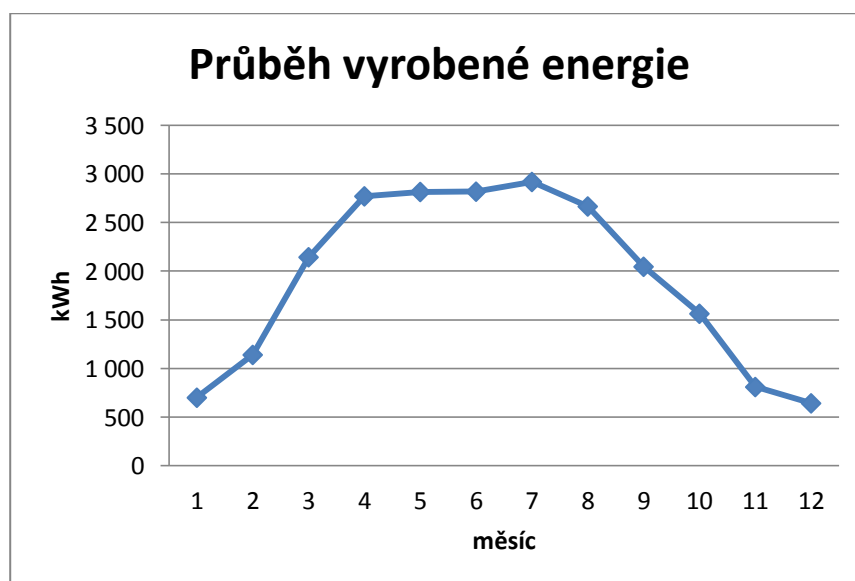
Do aplikace na webových stránkách je potřeba zadat parametry instalovaného fotovoltaického systému: polohu objektu, z jakého materiálu jsou navrhované panely, instalovaný špičkový fotovoltaický výkon, ztráty v systému (vedení, střídač), zda se jedná o volně stojící instalaci nebo o střešní, sklon panelů a azimut.

5.3.3 Vypočtené hodnoty

V následující tabulce jsou vypočtené hodnoty a hodnoty z aplikace PVGIS. Hodnoty jsem rozdělil podle možností instalace. Graf je pro celkovou vyrobenou energii v případě instalace obou možností. [21]

tab č. 5 Vypočtené hodnoty a hodnoty z aplikace PVGIS

	PVGIS SO02 [kWh]	odhad SO02 [kWh]	PVGIS SO03+SO0 4 [kWh]	odhad SO03+SO 04 [kWh]	Celk. výkon [kWh] PVGIS	Celk. výkon [kWh] odhad
1.	405	365	296	350	701	715
2.	636	431	505	413	1 141	843
3.	1140	891	1005	854	2 145	1 746
4.	1390	1 267	1381	1 214	2 771	2 481
5.	1360	1 448	1456	1 388	2 816	2 837
6.	1340	1 513	1479	1 450	2 819	2 962
7.	1400	1 569	1519	1 504	2 919	3 073
8.	1330	1 325	1337	1 269	2 667	2 594
9.	1060	920	987	881	2 047	1 801
10.	860	616	704	590	1 564	1 206
11.	466	303	345	290	811	592
12.	383	222	260	213	643	435
Celkem	11 770	10 869	11 274	10 416	23 044	21 285



obr. 8 Průběh vyrobené energie v prvním roce

Hodnoty vypočtené a převzaté z aplikace PVGIS se mírně liší. Pro počítání návratnosti použiji data z aplikace PVGIS, jelikož se jedná o osvědčený model, který používají firmy pro návrh instalací systémů. Z grafu je vidět, že 2 navrhované možnosti se v podstatě shodují ve vyrobené energii za celý rok.

5.4 Spotřeba objektu

Pro výpočet návratnosti je důležitá celková spotřeba objektu.

Celkový instalovaný odběr objektu je 116 kW. V současnosti je objekt využíván převážně v letních měsících. Obsazenost během roku se podle majitele pohybuje kolem 10 %. Celková spotřeba elektřiny za rok 2013 byla 53 MWh. Bohužel v roce 2014 došlo k chybě na elektroměru, takže pro odhad spotřeby elektřiny mám pouze 1 rok. Podle vyúčtování od distributora elektřiny firmy EON, je měsíční spotřeba během roku s malými odchylkami stejná. Toto je dáno nejspíše ohřevem bazénu v obsazenějších letních měsících a menší obsazeností v zimních měsících.

Hlavní zdroj spotřeby elektrické energie, tepelné čerpadlo, je určeno k vytápění objektu a k ohřevu bazénu. Bojler pro teplou vodu má objem 500 litrů, teplá voda je ohřívána ze 16 solárních kolektorů, již umístěných na jedné z jižně orientovaných střech. Kolektory po ohřevu vody v bojleru pro teplou vodu ohřívají vodu pro topení v bojleru s objemem 1 500 litrů. Pro 100 % účinnost kolektorů se přebytečné teplo odvádí na ohřev bazénu. Tepelné čerpadlo typ Buderus Logatherm s příkonem 11 kW. Dále je instalováno 6 oběhových čerpadel s výkonem 195 W. Významný odběr elektřiny má také vzduchotechnika pro větrání. Odběry pro specifické oblasti rodinného domu jsou uvedeny v tabulce č.6

tab č. 6 Specifické odběry rodinného domu

Odběr	Pinstalovaný(kW)	Psoudobý(kW)
Tepelná čerpadla + el.kotel	18	18
VZT	7,5	6
Strojovna ÚT	3	2
VRT (ZI)	2	2
Technologie bazénu	6	5
Sauna	6	6
Whirlpool	4	4
Bytové odběry (5 jednotek)	50	35
Ostatní el. instalace	20	10
Součet	116	88

5.5 Odhad spotřebované energie v objektu

5.5.1 Celková instalace

Jak jsem zmínil v kapitole 5.4 celková spotřebovaná energie za rok je 53 000 kWh. V přepočtu na průměrnou denní spotřebu to je 142 kWh za den. Při odhadu spotřebované energie z panelů přímo v objektu, budu vycházet z maximálního měsíčního výkonu, který nastane v červenci. Celková vyrobená energie za tento měsíc je cca 3 000 kWh. Průměrně na den to je 100 kWh. Vyšlo tedy, že fotovoltaické panely jsou schopné dodat cca dvě třetiny průměrné denní spotřeby. Celkový špičkový výkon celého návrhu je 26,7 kWp. Podle instalovaných spotřebičů a jejich soudobých příkonů můžeme odhadnout, že i při ideálních podmínkách osvitu by mohly panely dodávat 100 % svého výkonu do objektu. V objektu je již instalován systém vzdáleného přístupu pomocí internetu, který dokáže na dálku zapínat jednotlivé spotřebiče. V návrhu je počítáno s instalací watt routeru, který je schopný spínat spotřebiče, tak aby se co nejvíc vyráběné elektřiny spotřebovalo přímo v objektu. Pro odhad ušetřené energie budu počítat v tomto případě se ztrátou 30 %, která bude dodána do sítě. Současná cena pro dodávku do sítě je 400 Kč za MWh.

5.5.2 Instalace pouze jedné části systému

V tomto případě se budu zabývat instalací na objektech SO03 a SO04, jelikož je finančně méně náročná na výstavbu. U této instalace je průměrná denní výroba energie z panelů 50 kWh pro měsíc červenec. Celkový špičkový výkon je 14,3 kWp. V případě této instalace lze předpokládat, že veškerá vyrobená energie se spotřebuje v objektu. Budu počítat se ztrátou 10 % vyrobené energie, která bude dodána do sítě.

5.6 Finanční hodnocení investice

Finanční hodnocení rozdělím na celkovou instalaci a na instalaci pouze na objektech SO03 a SO04. Investor počítá v případě instalace se 100 % investováním projektu z vlastních zdrojů. Z tohoto důvodu nemusím do výpočtů uvažovat úroky z případné půjčky.

Hlavní hodnotou, která nás zajímá je hrubý zisk za spotřebovanou energii a energii dodanou do sítě. Cena dodávané elektřiny je podle vyúčtování 3,8 Kč za kWh. Cena za dodanou energii do sítě je 0,4 Kč za kWh. Podle vyhlášky č. 480/2012 Sb. o energetickém auditu a energetickém posudku [28] počítám s růstem ceny elektřiny za rok o 3 %. Hrubý zisk se spočte podle rovnice:

$$HZ = (\text{spotřeba} * E_{\text{vyrobená}} * 3,8 * 1,03) + (\text{sítě} * E_{\text{vyrobená}} * 0,4) \quad (5.2)$$

kde:

- HZ – hrubý zisk [Kč]
- spotřeba - podíl spotřebované elektrické energie
- $E_{\text{vyrobená}}$ - celková vyrobená energie [kWh]
- sítě – podíl dodané energie do sítě

Hrubý zisk pro první rok projektu je pro celkovou realizaci 65 901 Kč. Pro realizaci na objektech SO03 a SO04 je 40 165 Kč.

Dále jsem spočetl roční náklady. Tyto náklady se skládají z nákladů na provoz elektrárny, pojištění a odpis. Fotovoltaická elektrárna je v odpisové skupině 4. Odepisovat se bude rovnoměrně po dobu 20 let ze 100 % investice. Roční náklady jsem vyčíslil na 5 000 Kč. Roční odpis je dvacetina celkové investice.

Odečtením nákladů od hrubého zisku získám hodnotu zisku před zdaněním. Daň z příjmu pro fyzické osoby je 19 %. Po odečtení daně získám čistý zisk. Čistý zisk pro první rok projektu je pro celkovou realizaci 58 144 Kč. Pro realizaci na objektech SO03 a SO04 je 32 623 Kč.

Celkové roční přínosy (CF) se spočítají z hrubého zisku po odečtení daně a nákladů na provoz. Tuto hodnotu jsem dosadil do rovnice pro prostou dobu návratnosti: [28]

$$T_S = \frac{IN}{CF} \quad (4.3)$$

kde:

- *IN - investiční výdaje projektu [Kč]*
- *CF - celkový roční přínos projektu [Kč]*

U celkové instalace vyšlo, že se investice splatí 17. rok provozu elektrárny. U instalace pouze na objekty SO03 a SO04, kde počítá s 90 % spotřebou elektrické energie v objektu se investice splatí 15. rok provozu.

Investice se dále hodnotí pomocí diskontované doby návratnosti. Diskont je hodnota ušlé příležitosti. Pro výpočty jsem počítal s diskontem 9 %. Pro každý rok se počítá podle: [28]

$$Zisk_D = \frac{CF}{(1+D)^t} \quad (4.4)$$

kde:

- *CF* - celkový roční přínos projektu [Kč]
- *D* - diskont
- *t* - aktuální rok hodnocení

Při hodnocení pomocí diskontní doby návratnosti se projekt nevrátí ani u jedné z navrhovaných možností za dobu své deklarované životnosti 20 let. Tabulky s hodnotami pro obě možnosti instalace jsou v příloze 1 a 2.

Dále se investice hodnotí pomocí čisté současné hodnoty. V tomto kritériu je zahrnuta doba životnosti projektu a možnost investování jiného projektu. Čistá současná hodnota se počítá podle rovnice: [28]

$$\check{C}SH = \sum_0^{T_z} * \frac{CF}{(1+D)^t} \quad (4.5)$$

kde:

- *CF* - celkový roční přínos projektu [Kč]
- *D* - diskont
- *t* - aktuální rok hodnocení

Čistá současná hodnota vyšla pro diskontní sazbu 9 % -921 357 Kč pro celkovou realizaci a pro realizaci pouze na objekty SO03 a SO04 je -432 136 Kč. Pokud čistá současná hodnota vyjde záporná, projekt se nedoporučuje realizovat.

Posledním kritériem hodnocení investice je vnitřní výnosové procento. Tato hodnota nám říká, jaký bude roční výnos investice. Hodnota IRR se vypočte z podmínky: [28]

$$\sum_0^T \frac{CF}{(1+IRR)^t} - IN = 0 \quad (4. 6)$$

kde:

- *CF - celkový roční přínos projektu [Kč]*
- *IN - investiční výdaje projektu [Kč]*
- *t - aktuální rok hodnocení*

Po vypočtení vyšlo 1,58 % pro celkovou realizaci a pro realizaci pouze na objektech SO03 a SO04 vyšlo 3,45 %. Hodnota u obou uvažovaných možností jsou menší než uvažovaný diskont a tudíž se projekt nedoporučuje realizovat.

Závěr:

V první části byly popsány jednotlivé komponenty pro stavbu sluneční elektrárny. Byly zde přiblíženy nové trendy ve vývoji fotovoltaických panelů.

V další části byla popsána současná legislativa. Z této části je patrné, že současná legislativa není oproti minulosti k slunečním elektrárnám nakloněná. V návrhu je nový zákon, který alespoň částečně ulehčí výstavbu malých slunečních elektráren.

Ve výpočtech spotřeby objektu a výkonu sluneční elektrárny, jsem vypočetl, že je možné při správně navrženém spínání spotřebičů s největším odběrem elektrické energie, dosáhnout až 100 % spotřebované energie vyrobené elektrárnou.

V ekonomickém hodnocení jsem spočítal celkovou cenu instalace a porovnal náročnost obou uvažovaných projektů. Ve výpočtech pro finanční návratnost vyšlo, že projekt se nedoporučuje realizovat. Pouze u prosté doby návratnosti vyšlo, že se investice do projektu finančně vrátí. Při uvažování diskontu se finanční investice do projektu nevrátí za uvažovanou životnost instalace. Z toho vyplývá, že sluneční elektrárny se v současnosti vyplatí spíše pro objekty, které jsou bez přípojky elektrické energie a tato přípojka by byla finančně náročnější než stavba sluneční elektrárny. Je také otázkou, jak se bude měnit cena elektrické energie. V případě růstu ceny elektrické energie se návratnost projektu bude rychle snižovat.

Z důvodů uvedených výše bych tento projekt nedoporučoval realizovat a spíše investovat do jiných možností finančního zhodnocení investice.

Po konzultaci vypočtených výsledků začal vlastník nemovitosti uvažovat o stavbě projektu na objekty SO03 a SO04.

Seznam obrázků

obr. 1 Mapa slunečního záření [2]	10
obr. 2 Podíl jednotlivých technologií ve světě [4]	13
obr. 3 Schéma zapojení on-grid systému [8]	17
obr. 4 Schéma zapojení off-grid systému [8]	18
obr. 5 Satelitní snímek rodinného domu [16]	23
obr. 6 Nákres střech	25
obr. 7 Procentní úbytek záření podle natočení orientace panelu [20]	28
obr. 8 Průběh vyrobené energie v prvním roce	39

Seznam tabulek

tab č. 1 Výkonové ztráty v návrhu	33
tab č. 2 Naceněné položky – objekt SO02.....	35
tab č. 3 Naceněné položky – objekt SO03 + SO04	36
tab č. 4 Množství dopadajícího slunečního záření na plochu panelu pro jednotlivé měsíce	37
tab č. 5 Vypočtené hodnoty a hodnoty z aplikace PVGIS	39
tab č. 6 Specifické odběry rodinného domu.....	41

Seznam příloh

Příloha č. 1 - Ekonomické zhodnocení instalace na objekt SO03 a SO04

Příloha č. 2 - Ekonomické zhodnocení celkové instalace

Příloha č. 3 – Elektrické schéma zapojení

Příloha č. 4 - Nákres rozmístění fotovoltaických panelů

Bibliografie

1. Matuška, Tomáš. *Solární zařízení v příkladech*. Praha : Grada Publishing, 2013. ISBN 978-80-247-3525-2.
2. *Realizace solární elektrárny*. [Online]. [vid 3. 5 2015.] Dostupné z: <http://www.nobility.cz/aktuality>.
3. Mgr. K.Murtinger, Ing.J.Beranovský, Ph.D., Ing. M.Tomeš, CSc. *Fotovoltaika.Elektrina ze slunce*. Praha : ERA, 2008. ISBN: 978-80-7366-133-5.
4. Prof. Ing. Vítězslav Benda, CSc.: *FOTOVOLTAICKÉ ČLÁNKY – HISTORIE A SOUČASNÉ TRENDY VÝVOJE*. [Online]. Asb Portal, 2010 [vid. 3. 5 2015.] Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/tzb/fotovoltaika/fotovoltaicke-clanky-historie-asoucasne-trendy-vyvoje>.
5. Haselhuhn, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu. 1. české vyd. , 176 s. ISBN 978-80-86167-33-6*. Ostrava : HEL, 2011. str. 176. 978-80-86167-33-6.
6. Česká republika. zákon č. 96/2014 Sb. [Online], [vid. 4.5.2015] Dostupné z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=6719>.
7. *JAK JE TO S POVINNOSTÍ RECYKLACE FV PANELŮ?* [Online]. In: *Novatrix*. [vid. 10. 5 2015.] Dostupné z: <http://www.novatrix.cz/faq/jak-je-to-s-povinnosti-recyklace-fv-panelu-42-131.htm>.
8. Maehlum, Mathias Aarre. *Grid-Tied, Off-Grid and Hybrid Solar Systems*. In: *Energy Informative* [Online] 2013 [vid. 17. 5 2015.] <http://energyinformative.org/grid-tied-off-grid-and-hybrid-solar-systems/>.
9. M.Libra, V. Poulek. *Fotovoltaika: Teorie i praxe využití solární energie*. Praha : ILSA, 2010. ISBN: 978-80-904311-5-7.
10. Česká republika. zákon č. 183/2006 Sb. , *Zákon o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)*. [Online], [vid. 4.5.2015] Dostupné z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=4909>.
11. Česká republika. zákon č. 458/2000 Sb., *Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon)*. [Online], [vid. 4.5.2015] Dostupné z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=5944>.
12. ČSN ISO 62446 *Fotovoltaické systémy spojené s elektrorozvodnou sítí -Minimální požadavky na dokumentaci dokumentaci, zkoušky při uvádění do provozu a kontrolu*. Praha: ÚNMZ,červen 2010

13. Česká republika. zákon č. 586/1992 Sb. Zákon České národní rady o daních z příjmů . [Online] , [vid. 4.5.2015] Dostupné z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=2640>.
14. Nigrin, Ing. Jiří. *Fotovoltaické elektrárny*. In: STORMWARE [Online], 2011. [vid: 4. 5 2015.] Dostupné z: http://www.stormware.cz/podpora/LegServis/Fotovoltaicke_elektrarny_2011.aspx.
15. ČRU. *Cenové rozhodnutí* IN: ČRU. [Online], 2014 [vid. 10.5.2015] Dostupné z: <http://www.eru.cz/-/cenove-rozhodnuti-c-4-2013>.
16. *Satelitní mapa*, In: Mapy Seznam [Online], Seznam. [vid. 3. 4 2015.] Dostupné z: <http://www.mapy.cz>.
17. *Katalog panelů IBC Solar*. [Online]. IBC Solar [vid. 20. 4 2015.]. Dostupné z: <http://www.ibc-solar.nl/download.html>.
18. *Montážní systém*. [Online]. IBC Solar. [vid. 20. 4 2015.]. Dostupné z: http://www.ibc-solar.de/en/fileadmin/downloadbereich/DATASHEET/TOPFIX200_SINGLE-LAYER-SYSTEM_DATASHEET_MOUNTING_SYSTEMS_EN.pdf.
19. ČSN EN 62305 *Norma pro hromosvody*. Praha: ÚNMZ, červen 2009
20. SIL Elektro. *Faktory ovlivňující produkci*. In: SIL Elektro. [Online]. [vid. 17. 5 2015.]. Dostupné z: <http://www.silektr.cz/solarni-elektrarny/solarni-elektrarny/pruvodce/faktory-ovlivnujici-produkci>.
21. *Pravidla pro připojování. EON Distribuce* [Online] [vid. 20. 4 2015.] Dostupné z: <http://www.eondistribuce.cz>.
22. Střídač SMA. [Online]. SMA. [vid. 4. 5 2015.] Dostupné z: <http://shop.iftech.cz/files/sma-datasheet-stp-5000-12000tl.pdf.pdf>.
23. Střídač Danfoss. [Online]. Stormgraf. [vid. 2. 5 2015.]. Dostupné z: <http://www.stromgraf.com/danfoss-flx-inverters>.
24. OBECNÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ FOTOVOLTAICKÉHO ZDROJE. [Online] [vid. 2. 5 2015.]. Dostupné z : <http://www.oez.cz/aktuality/obecne-schema-zapojeni-fotovoltaickeho-zdroje>.
25. *Fotovoltaické kabely*. [Online]. Neosolar. [vid. 2. 5 2015.]. Dostupné z: http://eshop.neosolar.cz/images_content/434/3086-O-betaflam-solar-en-06-06-final.pdf.
26. Mindl, Pavel. *Analýza teplotních poměrů v rozvaděčích nízkého napětí*. In: *Elektrika* [Online]. 2002. [vid. 10. 5 2015.] Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/amindl020802>.
27. *PVGIS* [Online] [vid 3.5.2015] Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe>.

28. Česká republika Vyhláška č. 480/2012 Sb. o *energetickém auditu a energetickém posudku*. [Online]. [vid. 4.5.2015] Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/download.py?file=docu/predpisy/download/V480-2012.pdf>.

Příloha č. 1 - Ekonomické zhodnocení instalace na objekt SO03 a SO04

Rok	Vyrobená energie [kWh]	Výnosy [Kč]	Roční náklady [Kč]	Zisk před daní [Kč]	Zisk po zdanění [Kč]	Čistý zisk [Kč]	Prostá návratnost	Zisk diskont	Diskontovaná návratnost
1.1.2015			435 755			-435 755			
1.1.2016	11 274	40 165	26 788	13 377	10 835	32 623	-403 132	29 929	-405 826
1.1.2017	11 184	39 843	26 788	13 056	10 575	32 363	-370 769	27 239	-378 586
1.1.2018	11 094	39 525	26 788	12 737	10 317	32 105	-338 664	24 791	-353 796
1.1.2019	11 006	39 208	26 788	12 421	10 061	31 849	-306 816	22 562	-331 233
1.1.2020	10 918	38 895	26 788	12 107	9 807	31 594	-275 221	20 534	-310 699
1.1.2021	10 830	38 584	26 788	11 796	9 555	31 342	-243 879	18 688	-292 011
1.1.2022	10 744	38 275	26 788	11 487	9 305	31 092	-212 786	17 009	-275 002
1.1.2023	10 658	37 969	26 788	11 181	9 057	30 844	-181 942	15 480	-259 522
1.1.2024	10 572	37 665	26 788	10 877	8 811	30 598	-151 344	14 088	-245 434
1.1.2025	10 488	37 364	26 788	10 576	8 567	30 354	-120 989	12 822	-232 612
1.1.2026	10 404	37 065	26 788	10 277	8 324	30 112	-90 877	11 669	-220 942
1.1.2027	10 321	36 768	26 788	9 981	8 084	29 872	-61 005	10 621	-210 322
1.1.2028	10 238	36 474	26 788	9 686	7 846	29 634	-31 372	9 666	-200 656
1.1.2029	10 156	36 182	26 788	9 395	7 610	29 397	-1 974	8 797	-191 859
1.1.2030	10 075	35 893	26 788	9 105	7 375	29 163	27 189	8 006	-183 853
1.1.2031	9 994	35 606	26 788	8 818	7 143	28 930	56 119	7 287	-176 566
1.1.2032	9 914	35 321	26 788	8 533	6 912	28 700	84 819	6 632	-169 934
1.1.2033	9 835	35 038	26 788	8 251	6 683	28 471	113 289	6 036	-163 899
1.1.2034	9 756	34 758	26 788	7 970	6 456	28 244	141 533	5 493	-158 406
1.1.2035	9 678	34 480	26 788	7 692	6 231	28 018	169 552	4 999	-153 406

Příloha č. 2 - Ekonomické zhodnocení celkové instalace

Rok	Vyrobená energie [kWh]	Výnosy [Kč]	Roční náklady [Kč]	Zisk před daní [Kč]	Zisk po zdanění [Kč]	Čistý zisk [Kč]	Prostá návratnost	Zisk diskont	Diskontovaná návratnost
1.1.2015			927 808			-927 808			
1.1.2016	23 044	65 901	51 390	14 511	11 754	58 144	-869 664	53 343	-874 465
1.1.2017	22 860	65 374	51 390	13 984	11 327	57 717	-811 947	48 579	-825 885
1.1.2018	22 677	64 851	51 390	13 461	10 903	57 294	-754 653	44 241	-781 644
1.1.2019	22 495	64 332	51 390	12 942	10 483	56 873	-697 780	40 290	-741 354
1.1.2020	22 315	63 818	51 390	12 427	10 066	56 456	-641 324	36 693	-704 661
1.1.2021	22 137	63 307	51 390	11 917	9 652	56 043	-585 281	33 417	-671 244
1.1.2022	21 960	62 801	51 390	11 410	9 242	55 633	-529 648	30 433	-640 812
1.1.2023	21 784	62 298	51 390	10 908	8 835	55 226	-474 422	27 716	-613 096
1.1.2024	21 610	61 800	51 390	10 409	8 432	54 822	-419 600	25 242	-587 854
1.1.2025	21 437	61 305	51 390	9 915	8 031	54 422	-365 179	22 988	-564 866
1.1.2026	21 265	60 815	51 390	9 425	7 634	54 024	-311 155	20 936	-543 930
1.1.2027	21 095	60 328	51 390	8 938	7 240	53 630	-257 524	19 067	-524 862
1.1.2028	20 927	59 846	51 390	8 455	6 849	53 239	-204 285	17 366	-507 497
1.1.2029	20 759	59 367	51 390	7 977	6 461	52 851	-151 434	15 816	-491 681
1.1.2030	20 593	58 892	51 390	7 502	6 076	52 467	-98 967	14 404	-477 277
1.1.2031	20 428	58 421	51 390	7 031	5 695	52 085	-46 882	13 119	-464 158
1.1.2032	20 265	57 954	51 390	6 563	5 316	51 707	4 825	11 948	-452 210
1.1.2033	20 103	57 490	51 390	6 100	4 941	51 331	56 156	10 882	-441 328
1.1.2034	19 942	57 030	51 390	5 640	4 568	50 959	107 114	9 911	-431 418
1.1.2035	19 782	56 574	51 390	5 183	4 199	50 589	157 703	9 027	-422 391